

氏 名	塩 見 康 友
学 位 の 種 類	博士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 5319 号
学位授与年月日	平成 21 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当者
学 位 論 文 名	注入同期による単一周波数ナノ秒パルス紫外コヒーレント光源の開発と その原子分光応用に関する研究
論文審査委員	主 査 教授 熊谷 寛 副主査 教授 中山 正昭 副主査 教授 細田 誠

論 文 内 容 の 要 旨

原子分光法は、1960 年のルビーレーザーの発明以来、レーザーの進歩とともに著しく発展してきた。レーザー光の単色性、同調性、指向性、高輝度性、コヒーレンスを利用して、線形な光吸収分光法やレーザーによって誘起されたインピーダンス変化を利用するレーザー・ガルバノ分光法、あるいは光吸収の非線形性を観測する飽和吸収分光法など、種々の非線形分光法が開発され、分解能や感度が著しく向上してきた。このような原子分光技術は、原子の精密なエネルギー準位の決定など物理的興味に留まることなく、原子リソグラフィなどの原子光学分野、微量成分の高感度計測による環境計測分野、長さ、時間、周波数の標準技術分野など、工学的利用へも広がりを見せている。しかし、原子の吸収線が可視から近赤外の波長領域にある場合、単一周波数でかつ波長可変である色素レーザー、半導体レーザー、固体レーザーなどの商用レーザーが利用できたが、例えばシリコンのような工学的に重要な元素では共鳴線が深紫外域にあるため、実用的な波長可変単一周波数深紫外レーザーが開発されておらず、共鳴レーザー光を用いた分光実験が全く行なわれて来なかった。

本論文では、注入同期による単一周波数ナノ秒パルス紫外コヒーレント光源を開発し、シリコンや準安定ヘリウムのように工学的に重要な元素の多くが共鳴する紫外波長域において新しい原子分光技術を開発することを目的とした。

第 1 章は本論文の序論で、原子分光やコヒーレント光源開発の歴史的背景とレーザー原子分光技術の発展的応用について纏め、本論文の目的と意義について述べた。

第 2 章では、単一周波数 Ti:Sapphire レーザー光をナノ秒パルス Ti:Sapphire レーザーに注入同期し波長変換を行うことで、紫外域において連続波光源の狭線幅とパルス光源の高ピークパワーの両方の利点を持つ高輝度コヒーレント光源を開発した。同光源の性能評価から、紫外域で共鳴吸収できる原子のサブドップラー分光に有用であることが判明した。さらに、狭線幅化だけでなく発振波長や出力の安定度も向上できたため、原子ミラーのような原子光学分野にも応用が期待できる。

第 3 章では、第 2 章で開発した光源を利用して、シード光周波数走査による新しい原子分光手法を提案し、実証した。注入同期の効果がシード光の発振周波数とスレーブ光の共振周波数が一致するときのみ得られるため、楕型のスペクトルが得られた。このスペクトルからスレーブ光の共振器構造と性能を評価することができた。また、シード光を注入しない光源では測定できなかった、光源の線幅を無視できるシリコンや準安定ヘリウム3のドップラー分光が可能となった。

第 4 章では、第 3 章を踏まえ、スレーブ光の共振器の縦モードを動的に制御することで、多重のシード光周波数走査技術やシード光周波数追従技術を開発し、シリコンのドップラー分光、ドップラー効果によるスペクトル広がりを見無視できる準安定ヘリウム3のサブドップラー分光を実証した。

第 5 章は本論文の結論である。

論文審査の結果の要旨

レーザー冷却、ボース・アインシュタイン凝縮、原子波レーザー、原子リソグラフィーなど、原子分光の応用研究が近年盛んに行なわれてきた。しかしその対象原子はアルカリ金属原子が中心であって、色素レーザー、半導体レーザー、チタンサファイヤレーザーなど単一縦モード発振が可能な波長可変レーザーやその第二高調波発生で得られる、可視から近赤外までの波長域に共鳴吸収を有する原子に限られてきた。

本論文の著者は、工学的に重要なシリコン等の原子の多くが紫外域に共鳴吸収を有することに着目し、広帯域にわたって注入同期できる単一周波数ナノ秒パルス紫外コヒーレント光源の開発と、その原子分光応用に関する研究を行なった。特にパルス動作にすることで、広帯域での波長変換が容易になり、紫外域に共鳴吸収を有する種々の元素を対象にすることに成功している。さらに、半導体レーザーよりも広帯域波長可変性に優れたCW単一周波数チタンサファイヤレーザー光をシード光とし、ナノ秒パルスチタンサファイヤレーザーに注入同期し波長変換を行うことで、紫外域においてフーリエ変換限界程度の狭線幅とCWに比べて高いピークパワーの両方の特長を併せ持つ独創的な広帯域波長可変コヒーレント光源を開発している。種々の干渉計による性能評価から、狭線幅化だけでなく発振波長や出力の安定性も向上するため、原子分光ばかりでなく原子ミラーのような原子光学分野にも応用が期待できる。

さらに開発した光源を利用して、シード光周波数走査による新しい原子分光手法を提案し、実証している。注入同期効果はシード光の発振周波数と従属共振器の共振周波数が一致するときを得られるため、楕型スペクトルになることを見出している。その楕型スペクトルの包絡線から、広帯域光源では測定できなかった光源の線幅を無視できるドップラー分光を実現している。その一方で従属レーザーの共振器性能をも明らかにしている。さらに従属レーザーの共振器の縦モードを動的に制御することで、単一周波数でかつ周波数可変にすることができ、同光源が飽和吸収分光にも有効になることを実証している。

以上のように本論文の著者は、シリコン等の工学的に重要な原子の多くが紫外域に共鳴吸収を有することに着目し、広帯域にわたって注入同期できる独創的な単一周波数ナノ秒パルス紫外コヒーレント光源を開発するとともに、同光源を用いて、新しい分光技術を開発し、実際にその有効性を実証している。

これらの研究成果は、本論文の研究で焦点をあてたシリコン原子以外の、紫外域で共鳴吸収可能なゲルマニウムや炭素等、工学的に有用な原子にも発展的に利用可能で、特に応用分光計測学の発展に寄与するところ大である。よって本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格を有するものと認める。